

04;12

Функция распределения электронов по энергии в стоячих стратах

© С.Д. Вагнер, С.У. Нисимов, А.А. Хитров, А.В. Червяков

Карельский государственный педагогический университет, Петрозаводск
E-mail: andrewch@karelia.ru

Поступило в Редакцию 24 июля 2001 г.

Приведены результаты измерения функции распределения электронов по энергиям в стоячих стратах, вызванных локальным наложением магнитного поля в положительном столбе тлеющего разряда в неоне. Функция распределения имеет ярко выраженный второй максимум, который в зависимости от участка страты локализован при различных значениях энергии. Полученные экспериментальные результаты проанализированы на основе представлений нелокальной кинетики электронов.

Явление возникновения ионизационных волн (страт) в положительном столбе тлеющего разряда в неоне известно довольно давно [1]. Именно слоистый положительный столб является формой, наиболее типичной для разрядной плазмы большинства газов и их смесей. Страты бывают бегущие и стоячие. В частности, неподвижные страты располагаются по анодную сторону от любого возмущения, нарушающего однородность плазмы. Таким возмущением может служить электрический зонд, локальное наложение магнитного поля, катодная область разряда и т.п. В работе приведены результаты измерения функции распределения электронов по энергии (ФРЭЭ) в стоячих стратах, вызванных локальным наложением магнитного поля в положительном столбе тлеющего разряда в неоне.

Эксперименты были проведены в стеклянной трубке, имеющей полый холодный катод, плоский подвижный анод, неподвижный цилиндрический зонд длиной 2 мм и диаметром 0.2 мм, расположенный на оси трубки. Разрядные условия: ток 5–15 мА, давление неона 1 Торг, радиус трубки 16 мм — были подобраны так, чтобы в разряде отсутствовали бегущие страты. ФРЭЭ измерялась по второй производной зондового тока по потенциалу зонда. Потенциал плазмы определялся по нулю второй производной. Для измерения пространственного распределения интенсивности свечения разряда использовался призмный монохроматор с пространственно-сканирующей системой.

Появление стоячих страт инициировалось магнитным полем двух небольших постоянных магнитов, помещенных на стеклянную трубку так, чтобы их магнитное поле было направлено перпендикулярно оси трубки. Магниты подбирались так, чтобы получить локальное возмущение однородности положительного столба. Величина магнитного поля на оси трубки составляла 100 Gs. В области возмущения возникало повышенное свечение положительного столба. Такое свечение периодически повторялось по анодную сторону от возмущения, постепенно затухая, — возникали стоячие страты.

При перемещении постоянных магнитов вдоль трубки связанные с ними стоячие страты также перемещались. Таким образом, можно было получить зондовые характеристики в различных участках стоячей страты с помощью зонда, расположенного на оси разрядной трубки. На рис. 1 приведены экспериментальные ФРЭЭ на разных расстояниях от источника возмущения.

Результаты измерения показывают, что ФРЭЭ имеет выраженный второй максимум, который в зависимости от области страты локализован при разных значениях кинетической энергии. Измерения ФРЭЭ охватывают две страты. Второй максимум на ФРЭЭ для второй страты менее выражен, что соответствует уменьшению амплитуды страт при удалении от источника возмущения. Этот максимум появляется на ФРЭЭ в области малых энергий, а затем по мере продвижения по X перемещается в область больших энергий. Когда он достигает энергий, при которых начинаются неупругие соударения, появляется область повышенного свечения и второй максимум вновь переходит в область малых кинетических энергий. Затем процесс повторяется. Следует отметить, что приведенные результаты измерений ФРЭЭ

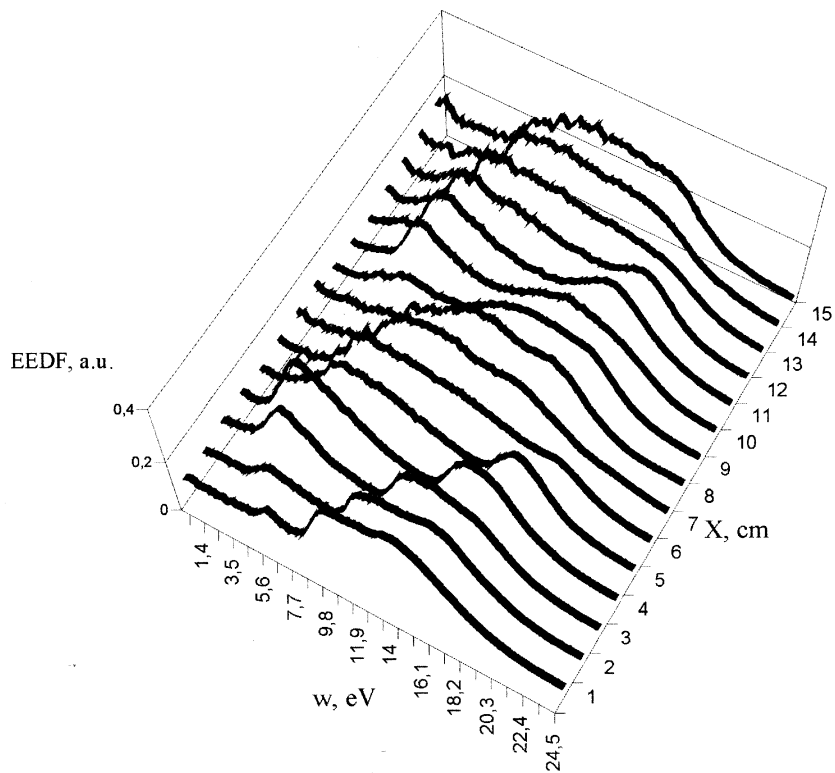


Рис. 1. ФРЭЭ на разных расстояниях от источника возмущения: $P = 1 \text{ Тогг}$, $I = 10 \text{ мА}$, $R = 16 \text{ мм}$, X — расстояние между зондом и областью наложения магнитного поля $B = 100 \text{ Гс}$.

в стоячих стратах весьма схожи с результатами измерений ФРЭЭ в бегущих стратах небольшой амплитуды при близких разрядных условиях [2].

На рис. 2 приведены результаты измерений потенциала плазмы вдоль оси трубки. Из рисунка видно, что профиль потенциала имеет периодический характер. Ход потенциала коррелирует с перемещением второго максимума ФРЭЭ по энергии.

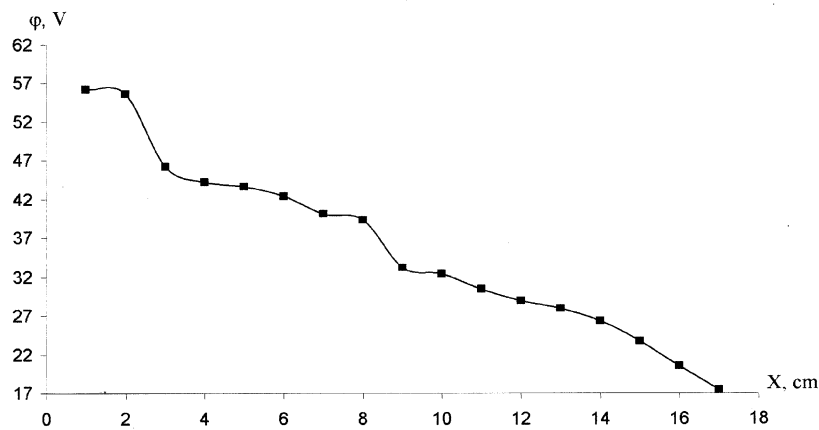


Рис. 2. График пространственного распределения потенциала плазмы в стоячих стратах.

Полученные экспериментальные результаты проанализированы на основе нелокальной кинетики электронов [3]. Когда потери энергии электронов на упругие столкновения малы, движение электронов имеет диффузионный характер с постоянным значением полной энергии $\varepsilon = w + e\varphi$, w — кинетическая энергия, $e\varphi$ — потенциальная энергия электрона соответственно. Полная энергия электрона может измениться только за счет неупругого столкновения, если кинетическая энергия электрона превысит порог возбуждения ε_1 . Такой характер движения электронов определяет длину пространственной периодичности параметров плазмы $\lambda_\varepsilon = \varepsilon_1/eE$, где e — заряд электрона, E — напряженность продольного электрического поля. В случае если в столбе имеется источник возмущения, деформирующий ФРЭЭ, возмущение становится периодичным. Для неона $\varepsilon_1 = 16.6$ eV, в описанных разрядных условиях $E = 2$ V/cm [4], $\lambda_\varepsilon = 8$ cm, что примерно соответствует длине страт для приведенных экспериментов.

Данная работа выполнена при поддержке грантов РФФИ, номера 06-02-16327, 01-02-06350, 01-02-06356.

Список литературы

- [1] Недоспасов А.В. // УФН. 1968. Т. 94. В. 3. С. 439–462.
- [2] Голубовский Ю.Б., Нисимов С.У., Порохова И.А. // ЖТФ. 1997. Т. 67. В. 2. С. 24–30.
- [3] Tsendin L.D. // Plasma Sourc. Sci. Technol. 1995. V. 4. P. 200–211.
- [4] Вагнер С.Д., Нисимов С.У., Пядин В.П., Слышов А.Г., Червяков А.В. // Физика плазмы. 1998. Т. 24. № 7. С. 633–636.