

04

О влиянии величины прианодного падения потенциала на баланс числа электронов в анодной плазме с двойным слоем

© Т.Х. Гусейнов, М. Мослехи-Фард, А.Х. Мурадов

Бакинский государственный университет

E-mail: htarlan@box.az

a_muradov@yahoo.com

Тавризский государственный университет, Иран

E-mail: moslehi@tabrizu.ac.ir

Поступило в Редакцию 9 июня 2004 г.

Измерена глубина потенциальной ямы у анода в анодной плазме плазменного пучка с двойным слоем в нестационарном режиме. Глубина прианодного падения потенциала была подвержена хаотическим осцилляциям. Таким образом, прианодное падение потенциала играло роль клапана, регулирующего концентрацию запертых электронов в анодной плазме. Измерения проводились с помощью многосеточного анализатора энергии электронов при прохождении плавающего потенциала перед анодом через определенный уровень. Получено распределение числа осуществляемых значений от глубины потенциальной ямы. Наиболее вероятные значения глубины потенциальной ямы соответствуют интервалу значений от 3 до 6 В. Подстановка полученных значений глубины потенциальной ямы в усредненное уравнение баланса дала удовлетворительное согласие концентраций по порядку величины.

1. В литературе по исследованию двойных электрических слоев (ДС) в плазме отмечается необходимость наличия нескольких групп пролетных и отраженных частиц для стационарного существования ДС в плазме или системе пучок–плазма [1,2]. В работах [3,4] эти

группы обнаружены экспериментально, а в работе [5] были измерены концентрации и энергетические распределения пролетных и отраженных (запертых) электронов. В работе [6] были измерены тепловые энергии ионов в плазме с двойным слоем. Хотя в работах [1,4] отмечается принципиальная возможность устойчивого существования ДС без определенной компоненты отраженных от ДС частиц, в подавляющем большинстве случаев предполагается наличие отраженных электронов с обеих сторон от минимума потенциала у ДС.

Ввиду важности роли запертых электронов для существования ДС важное значение имеет изучение их свойств и причин, приводящих к установлению их энергетического спектра, концентраций и т.д. В условиях экспериментов [4,5], когда весь плазменный пучок находился в продольном магнитном поле (электроны замагничены, а ионы — нет), в поперечном направлении электроны не могли уходить на стенки из-за замагниченности. В осевом направлении (с торцов) падение потенциала на ДС не позволяло электронам покинуть анодную плазму (АП) в катодную сторону. Таким образом, уход электронов из анодной плазмы определялся прианодным падением потенциала. О существовании прианодного падения потенциала впервые было сообщено в работе [4], где отмечалась его роль в балансе электронов в АП. Измерения, проведенные зондами, показали, что глубина потенциальной ямы в прианодном падении потенциала имеет значение порядка 4 В. Однако ограниченные пространственные и временные разрешающие способности зондов не позволяли более детального изучения величины прианодного падения потенциала и его динамики. В данной работе с помощью многосеточного анализатора измерена глубина потенциальной ямы у анода в АП плазменного пучка с двойным слоем. Обсуждается влияние прианодного падения потенциала на баланс числа электронов в АП.

2. Подробное описание экспериментальной установки и продольное распределение потенциала приведены в [5]. Плазменный пучок, источником которого являлась дуга в парах ртути с жидким катодом, распространялся вдоль кварцевой цилиндрической трубки с внутренним диаметром 12 см. В конце трубки размещался плоский анод из нержавеющей стали в виде диска. В зависимости от величины анодного тока ДС размещался на различных расстояниях от анода. Давление паров ртути в системе было порядка 10^{-5} Торр, индукция магнитного поля — 25 Гс. Для измерения глубины прианодной потен-

циальной ямы в анод был вмонтирован многосеточный анализатор энергии электронов. Первая сетка имела размер ячейки 0.03 mm и была приварена к поверхности анода со стороны плазмы (дебаевский радиус был порядка 0.1 mm). На вторую сетку, которая имела 4 штриха на mm, подавался задерживающий потенциал. На третью сетку подавался ускоряющий электроны и отражающий ионы потенциал (20 V). Четвертая сетка была соединена с корпусом, вместе с которым составляла коллектор электронов. Анализатор размещался в центре анода. Рабочая поверхность анализатора представляла собой круг с диаметром 3 mm.

3. Глубина потенциальной ямы у анода измерялась следующим образом. Измерялись зависимости тока коллектора от потенциала второй сетки C_2 . С уменьшением отрицательного потенциала C_2 при определенном его значении ток коллектора резко возрастал. Задерживающий потенциал, при котором резко возрастал ток коллектора, определял глубину потенциальной ямы. При наличии ДС из-за сильных флуктуаций глубины потенциальной ямы эта кривая размывалась, что затрудняло измерения. Для измерения колеблющейся глубины потенциальной ямы вблизи анода размещался тонкий цилиндрический зонд так, чтобы не оттенять вход анализатора. Колебания потенциала изолированного зонда у анода подавались на схему сравнения. При прохождении потенциала зонда через определенный уровень запускался прямоугольный импульс длительностью 50 ns. На это время открывался вход накопителя и регистрировался ток, протекающий через сопротивление R . Изменяя задерживающий потенциал, можно было измерить зависимость тока коллектора от потенциала второй сетки. Таким образом, эти характеристики измерялись при прохождении потенциала через определенный уровень. Примеры измеренных характеристик для различных двух уровней приведены на рис. 1, кривые 1, 2. Одновременно производился счет импульсов за 1 s. Было получено, что независимо от направления пересечения потенциала более высоким уровням потенциала соответствовали более низкие коллекторные токи и, следовательно, более низкие концентрации. На том же рисунке приведена зависимость среднего тока коллектора от потенциала второй сетки (кривая 3). В нижней части рис. 1 приведены первые производные измеренных характеристик. За глубину потенциальной ямы принималось значение, соответствующее максимуму первой производной. Видно, что в этом случае характеристика настолько

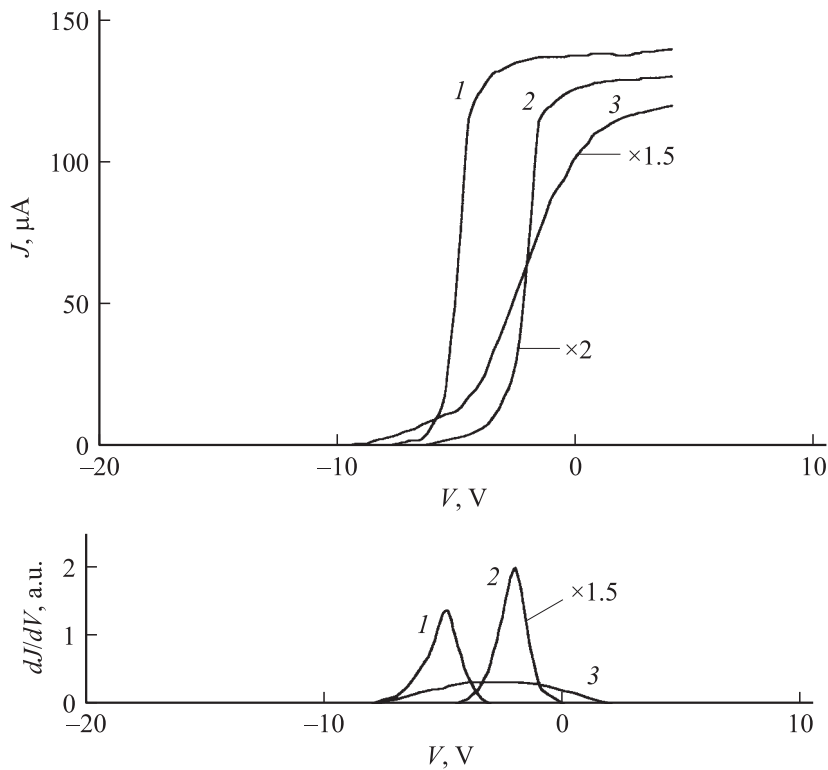


Рис. 1. Зависимость тока коллектора от потенциала второй сетки: 1 — ток анода $I_a = 300 \text{ mA}$; $V_A = 4.8 \text{ V}$; 2 — $I_a = 300 \text{ mA}$; $V_A = 2 \text{ V}$; 3 — $I_a = 300 \text{ mA}$; средний ток.

размазывается, что затрудняет определение среднего значения глубины потенциальной ямы, а характер колебаний в принципе невозможно определить.

На рис. 2 приведена зависимость числа полученных глубин потенциальной ямы от уровня потенциала. Из этой кривой видно, что наиболее вероятные значения глубины потенциальной ямы соответствуют интервалу значений от 3 до 6 V, хотя в некоторых случаях эта величина может достигнуть более высоких значений.

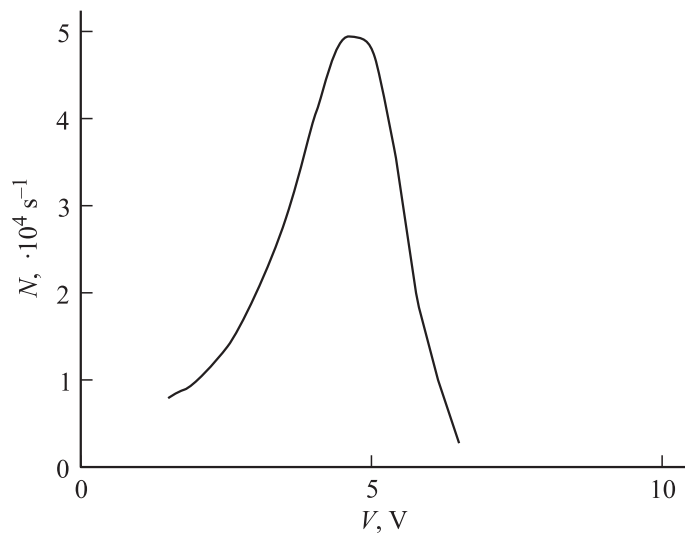


Рис. 2. Зависимость числа измерительных импульсов от уровня потенциала.

4. При составлении баланса числа электронов в анодной плазме ионизацией за счет парных столкновений можно пренебречь, и поэтому в уравнении баланса остаются „приходный“ член за счет электронов, прошедших через ДС в АП, и „уходный“ член за счет электронов, достигших анода, преодолев прианодное падение потенциала. Тогда уравнение баланса среднего числа электронов имеет вид

$$n_D \int_{v_D}^{\infty} v f(v) dv = n_A \int_{v_A}^{\infty} v f_A(v) dv, \quad (1)$$

где n_D и n_A — число электронов, прошедших через падение потенциала ДС V_D , и прианодное падение потенциала V_A . Проверка формулы (1) по измеренным в [5] распределениям электронов f_D , f_A в катодной и анодной плазме соответственно и концентраций n_D и n_A , а также значений $V_A = 4.8$ V, $V_D = 18$ V дала удовлетворительное согласие значения n_D/n_A по порядку величины.

Список литературы

- [1] *Hellberg M.A., Raadu M.A., Mace R.L.* Symposium on DL Potential Formation and Related Nonlinear Phenomena in Plasmas. Sendai, Japan, 1996. P. 3.
- [2] *Carlqvist P.* Wave Instabilities in Space Plasmas. 1979. P. 83.
- [3] *Lindberg L.* Intern. Conf. On Pl. Pys. Goteborg, 1982. P. 137.
- [4] *Torven S., Lindberg L.* // J. Phys. D: Appl. Phys. 1980. Vol. 13. P. 2285.
- [5] *Мурадов А.Х.* // Физика плазмы. 1985. В. 11. С. 1386.
- [6] *Maciel H.S.* Allen J.E. ICPIC XVIII. 1985. Vol. I. P. 155.