

6. Hillenbrand L. J. «J. Phys. Chem.», 1969, 73, 2902.  
 7. Агеев В. Н., Ионов Н. И., Устинов Ю. К. «Журнал технической физики», 1964, 34, 547.

Поступила в редакцию  
 20.10 1976 г.  
 Кафедра  
 общей физики для химфака

УДК 533.9.082.76

В. А. Годяк  
 С. Н. Окс

### К ВОПРОСУ О ЗОНДОВОЙ ДИАГНОСТИКЕ ВЧ-ПЛАЗМЫ

Корректное применение зондовой методики для диагностики плазмы ВЧ-разряда требует принятия специальных мер по установлению ВЧ-составляющей разности потенциалов в призондовом слое [1]. Известно, что наличие ВЧ-составляющей напряжения в призондовом слое приводит к сдвигу вольтамперной характеристики в сторону отрицательных потенциалов, т. е. к кажущемуся уменьшению постоянного потенциала плазмы в ВЧ-разрядах. В работе [2] была предложена зондовая схема, позволяющая исключить проникновение ВЧ-напряжения в призондовый слой. В настоящем исследовании проведена независимая проверка эффективности этой схемы. Для этого помимо зондовых измерений потенциала плазмы по методике [2] потенциала плазмы определялся из интегральных энергетических спектров ионов, покидающих разрядный промежуток в направлении ВЧ-поля. Сопоставление потенциалов плазмы, измеренных обоими методами, позволит судить о корректности использования зондовой схемы,

предложенной на рис. 1. Эксперименты проводились в ВЧ-разряде на частотах  $f_1=15$  МГц и  $f_2=77,6$  МГц. Плазма ВЧ-разряда создавалась в трубке диаметром 100 мм, наполненной парами ртути при давлении  $p=1,2 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст. Плоские внутренние электроды диаметром 93 мм были разнесены на 97 мм. Исследование энергетического распределения ионов, покидающих ВЧ-разряд, производилось приэлектродным трехсекционным анализатором. Входное отверстие

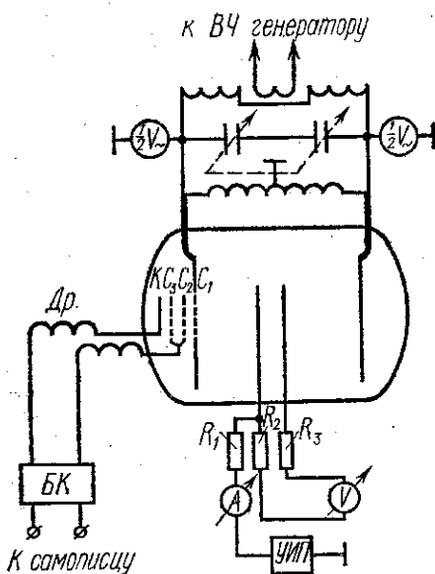


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. Др — высокочастотный дроссель, БК — блок коммутаций  $R_1=R_2=R_3=160$  кОм

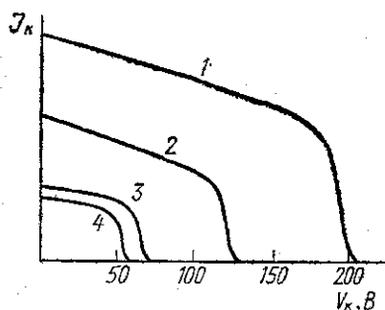


Рис. 2. Интегральные энергетические спектры ионов при  $f_1=15$  МГц: 1 —  $V \sim 420$  2 —  $V \sim 250$  В и при  $f_2=77,6$  МГц; 3 —  $V \sim 565$ , 4 —  $V \sim 28,2$  В

стие анализатора имело диаметр 6 мм, ширина ячейки сетки была 0,32 мм и толщина проволочки — 0,05 мм. Расстояние между входным отверстием анализатора и коллектором 4 мм, а между сетками 1 мм. Анализ велся по коллектору К. Сетки  $C_2$  и  $C_3$

были закорочены и на них подавалось запрещающее электроны напряжение. Сетка  $S_1$  по постоянному потенциалу была заземлена. Разрешающая способность анализатора составляла 5%. Запись энергетических спектров ионов производилась автоматически с помощью двухкоординатного самописца. Цилиндрические зонды помещались в центре трубки, перпендикулярно ее оси.

Движение иона, рожденного в плазме ВЧ-разряда, определяется в основном распределением постоянных электрических полей (частота генератора много больше ионной плазменной частоты). Среди ионов, вылетающих из ВЧ-разряда, найдутся такие, которые долетят до приэлектродных областей, не претерпев столкновений, т. е. без потери энергии. Это дает возможность идентифицировать потенциал плазмы ВЧ-разряда, измеренный относительно электрода, с максимальной энергией ионов, достигающих электрода. Интегральные энергетические спектры ионов для двух частот генератора и различных ВЧ-напряжений на электродах приведены на рис. 2.

Потенциал плазмы  $\phi_0$  определялся по отсечке ионного тока. В таблице указаны потенциалы, измеренные зондовым методом  $\phi_z$  и по максимальной энергии ионов  $\phi_a$ . Небольшое расхождение в потенциалах плазмы, измеренных двумя методами, обусловлено, по-видимому, влиянием ВЧ-поля на движение ионов.

Оценки показали, что ион, движущийся в приэлектродном слое пространственного заряда, где ВЧ-поле значительно превосходит поле в плазме ( $E_{0\sim} \gg E_{p\sim}$ ), может

приобрести от ВЧ-поля добавочную энергию  $\Delta\epsilon = \frac{eF_{0\sim}}{\pi f} \left( \frac{2e\phi_0}{M} \right)^{1/2}$ . Здесь  $e$  и  $M$  — заряд и масса иона,  $\phi_0$  — потенциал плазмы,  $f$  — частота генератора,  $E_{0\sim}$  — ампли-

$f$ , МГц	$V_{\sim}$ , В	$\Delta\phi$ , В	$\phi_z$ , В	$\phi_a$ , В	$\phi_a - \Delta\phi$
15,0	420	14	196	204	190
	360	12	170	180	168
	250	8	116	123	115
	195	6	97	102	96
	170	4	86	88	84
77,6	56,5	6	66,5	71	65
	28,2	5,4	55	60	54,6
	14,1	4,5	44	50	45,5
	9,6	4	40	45	41

туда ВЧ-поля в приэлектродном слое пространственного заряда, которая рассчитывалась по результатам работы [3]. Таким образом, этот механизм дает систематическое завышение показаний анализатора на величину  $\Delta\phi = \Delta\epsilon/e$ , значения  $\Delta\phi$  приведены в таблице. На основе анализа данных, приведенных в таблице, мы делаем вывод, что независимым образом измеренные потенциалы пространства ВЧ-разряда с точностью до ошибок измерений совпали. Это указывает на корректность использования зондовой методики, предложенной в работе [2].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gagnee R. R. J., Cantin A. J. «J. Appl. Phys.», 1972, 43, 2639.
2. Godjak V. A., Kuzovnikov A. A., Попов О. А. Proc. XII Int. Conf. Phenom. Ioniz Gases, 109, Eindhoven, 1975.
3. Годяк В. А. «Физика плазмы», 1976, 2, № 1, 141.

Поступила в редакцию  
8.2 1977 г.  
Кафедра  
электроники