

**ПАРАМЕТРЫ ПЛАЗМЫ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО  
ГАЗОВОГО РАЗРЯДА**

Дудочкина Д.П.<sup>1</sup>, Матвеев В.В.<sup>1</sup>, Щербина А.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ИФХЭ им. А.Н. Фрумкина РАН

119071 Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4

<sup>2</sup>ФГБУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»

125047, г. Москва, Миусская пл., д. 9

*ddudochkina@mail.ru*

Описана методика измерения параметров плазмы двойным зондом Ленгмюра. Получены значения температуры электронов и концентрации заряженных частиц в зависимости от величины ускоряющего напряжения.

**Введение**

Анализ многочисленных экспериментальных исследований показал, что основные измерения плазменного травления полимеров связаны с использованием двух методов: гравиметрического метода и метода краевых углов смачивания. С помощью гравиметрических методов получена информация о скорости травления, которую традиционно используют для идентификации как механизма деструкции, так и формирования нанорельефа поверхности. Метод краевых углов смачивания позволяет получить информацию об энергетических характеристиках протравленной поверхности полимера. Однако, наши предварительные исследования показали, что результаты плазмохимической модификации зависят от параметров плазмы ВЧ разряда, в частности энергетических характеристик плазмы.

Целью настоящей работы являлось исследование энергетических характеристик плазмы ВЧ-разряда и определение зависимости параметров плазмы от амплитуды ускоряющего напряжения ( $V$ , кВ) и природы газа.

## 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Объекты и методы исследования

Известны различные методики диагностики плазмы: оптические, спектроскопические, зондовые и т.д. [1], однако в рамках данной работы использовался метод двойного зонда Ленгмюра.

В работе был использован ВЧ разряд Н-типа. В качестве источника разряда использовался ВЧ генератор мощностью 100 Вт, частотой 10-12 МГц.

Электрическая схема измерений в разряде (рис. 1) включает: двойной зонд, универсальный источник питания, микроамперметр и вольтметр. Зонды из молибденовой проволоки диаметром 0,8 мм и активной частью 6,9 мм

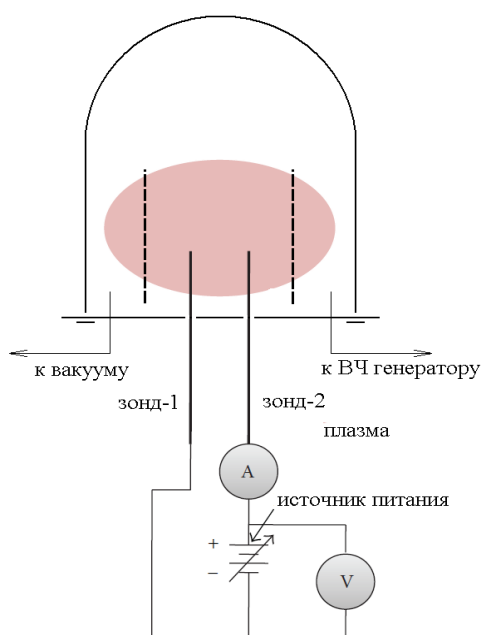


Рис. 1. Схема измерения параметров плазмы двойным зондом Ленгмюра.

с шагом в 10 В. Для выявления зависимости вольт-амперной характеристики от значений амплитуды ускоряющего напряжения плазмы ВЧ разряда значения составляли от 800 до 480 В.

### Обсуждения и результаты

Типичная вольт-амперная характеристика представляет собой суперпозицию трех участков (рис. 2).

располагались на расстоянии 10,5 мм друг от друга. При погружении в плазму вокруг зонда образуется двойной электрический слой (призондовый слой). Измерение давления осуществлялось терморезисторным вакуумметром ALCATEL ACR 1000. Амплитуда ускоряющего напряжения определялась с помощью осциллографа С1-73.

Получение вольт-амперной характеристики зонда выполнялось при изменении потенциала зонда от -100 до 100 В

Различия в наклонах участков вольт-амперной характеристики в области ионного тока (в области наибольших III и наименьших I значений напряжений) следует соотносить с неэквивалентностью размеров зондов.

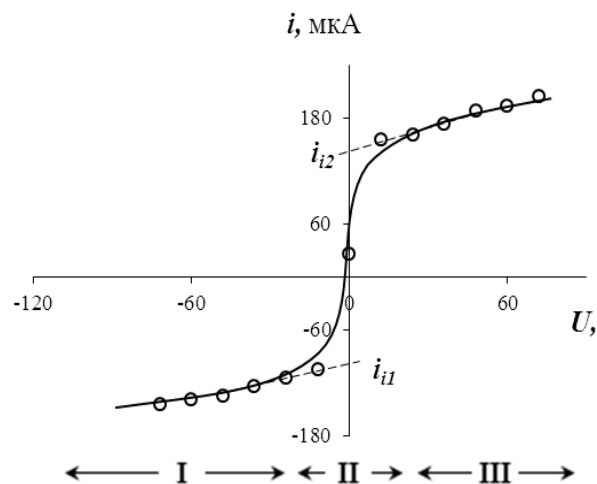


Рис. 2. Типичная вольт-амперная характеристика двойного зонда.

Полученные зависимости позволили определить

температуру электронов  $T_e$  и концентрацию заряженных частиц  $n_e$  по ионному току насыщения. При этом предполагается максвелловская функция распределения электронов по энергиям.

Температура электронов  $T_e$  определялась методом эквивалентного сопротивления [1, 2, 3] согласно выражению:

$$T_e = -\frac{e}{k} \left[ \frac{i_{i1} i_{i2}}{i_{i1} + i_{i2}} \frac{dU}{di_3} \right]_{i=0} \quad (1),$$

где  $e$  — заряд электрона,  $k$  — константа Больцмана,  $i_{i1}$  и  $i_{i2}$  — величины ионного тока насыщения,  $U$  — потенциал зонда относительно плазмы,  $i_3$  — ток зонда.

При этом предполагалось, что наклон асимптот в области больших (по модулю) значений напряжений в первом приближении является линейным. Значения  $i_{i1}$  и  $i_{i2}$  определялись по пересечению асимптот советующих участков графика с осью ординат. Величина  $\left. \frac{dU}{di_3} \right|_{i=0}$ , называемая эквивалентным сопротивлением, определялась как наклон вольт-амперной характеристики при  $i=0$ . Средняя энергия электронов  $E$  рассчитывалась через полученные значения  $T_e$ . Для определения концентрации заряженных частиц  $n_e$  по ионному току насыщения использовалось усредненное по двум ветвям значение ионного тока:

## 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

$$I_{i0} = 0.61 n_e e A_z \sqrt{\frac{kT_e}{m_i}} (2),$$

где  $A_z$  — площадь поверхности зонда,  $m_i$  — масса ионов,  $n_e$  — концентрация электронов.

Полученные значения температуры электронов и концентрации заряженных частиц приведены в таблице 1. Можно видеть, что температура электронов и их концентрация в плазме возрастает с увеличением величины ускоряющего напряжения.

Табл. 1. Параметры плазмы высокочастотного разряда

V, В	E, эВ	$n_e/10^{29}$ , 1/м <sup>3</sup>
800	8,3	2,4
640	8,2	1,3
480	6,3	1,0

Полученные данные будут использоваться в дальнейших исследованиях для выявления закономерностей влияния параметров ВЧ-плазмы на свойства модифицированных полимерных пленок.

### Литература:

1. *Лебедев Ю. А.* Электрические зонды в плазме пониженного давления // Институт нефтехимического синтеза им А. В. Топчиева РАН
2. Development of Simple Designs of Multitip Probe Diagnostic Systems for RF Plasma Characterization//The Scientific World Journal. 2014. 8 p.
3. *Sobolewski M. A.* Measuring the ion current in high-density plasmas using radio-frequency current and voltage measurements. // Journal of Applied Physics. 2001 V. 90. N. 6. P. 2660–2671.