

УДК 537.52

## ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКРАНИРОВАННОГО ВЧ ФАКЕЛЬНОГО РАЗРЯДА СВЧ И СПЕКТРАЛЬНЫМ МЕТОДАМИ

И. А. ТИХОМИРОВ, В. В. ТИХОМИРОВ, В. Я. ФЕДЯНИН,  
А. А. СОЛОВЬЕВ, М. М. ПУГОВКИН, А. И. КУЗЬМИНЫХ, Н. М. СИНИЦЫН

(Представлена научным семинаром физико-технического факультета)

Описана методика и приведены результаты измерений газовой температуры в диапазоне давлений 100—760 мм рт. ст. для воздушной плазмы и плазмы смеси воздуха и продуктов разложения органического диэлектрика в металлическом в.ч. факельном плазмотроне. Изложено описание установки для определения электронной плотности и эффективной частоты столкновений электронов с тяжелыми частицами с.в.ч. методами.

Иллюстраций 4, таблиц 1, библиографий 11.

В самое ближайшее время особую роль в развитии и становлении прогрессивной технологии будут играть процессы, протекающие в условиях плазмы электрических разрядов при газовых температурах  $(3 \div 30) 10^3 \text{K}$  и еще более высоких «электронных температурах» [1]. При этом многим технологическим процессам, как видно из результатов сегодняшних исследований [2—4], лучше всего будет удовлетворять плазма в.ч. разрядов. Особое внимание следует обратить, на наш взгляд, исследованию в.ч. факельного разряда, который, обладая всеми достоинствами в.ч. разрядов, лишен в то же время таких недостатков индукционного разряда, как невозможность использования последнего в полностью металлических конструкциях.

Однако в.ч. факельный разряд в металлическом плазмотроне в настоящее время недостаточно изучен и поэтому представляет определенный интерес создание такого типа металлического в.ч. факельного плазмотрона, в котором при проведении плазмохимических реакций можно было бы определять все основные параметры плазмы в.ч. факельного разряда. Схема такого плазмотрона, разработанного нами, описана в работе [11].

Для определения газовой температуры в этом плазмотроне разряд фотографировался при помощи кварцевого спектрографа ИСП-28 на аэрофотопленку чувствительностью 1100 ед. ГОСТа. Для измерения температур был выбран метод относительных интенсивностей линий в полосе  $3064 \text{ \AA}$  гидроксидов ОН.

Применимость этой полосы гидроксидов для измерения газовых температур в в.ч. разрядах рассматривалось экспериментально в работах М. З. Хохлова [5—6], где показано, что при газовых температурах выше  $2500 \text{K}$  диссоциация молекул воды в разряде носит термический характер и «вращательная температура» гидроксидов совпадает с температурой газа.

Наиболее удобными для измерения температуры в наших условиях оказались ветви  $P_1$  и  $Q_1$ . Измерения, проведенные по ним, отличаются между собой на 1—2%, что лежит в пределах точности метода.

На рис. 1 приведены зависимости газовой температуры от давления газа в плазмотроне при различной подводимой к разряду мощности. Из графиков видно, что при давлениях, больших 300 мм рт. ст., газовая температура в факельном разряде мало изменяется как при изменении давления, так и мощности, подводимой к разряду.

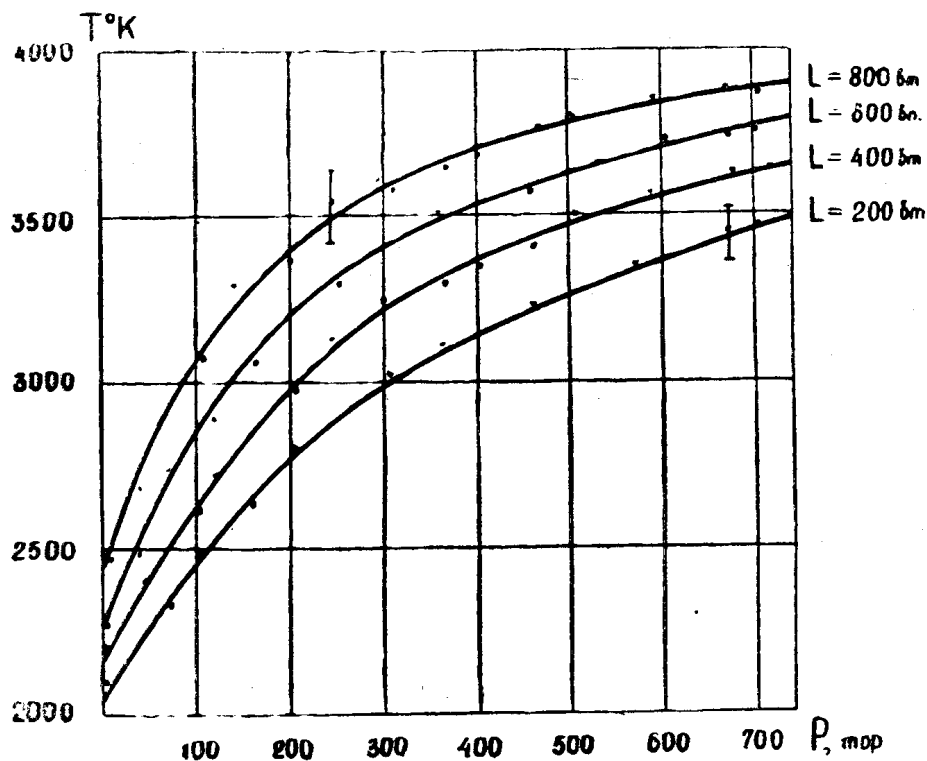


Рис. 1. Зависимость газовой температуры факельного разряда в воздухе от давления при различных мощностях, вкладываемых в разряд ( $L=200, 400, 600, 800$  вт).

Описанная выше методика определения газовой температуры была применена также и для определения газовой температуры плазмы смеси воздуха с продуктами разложения органических соединений сложного состава.

На рис. 2 приведена зависимость температуры плазмы этих реагирующих компонент от давления.

Для проведения микроволновых измерений нами использовалась установка (рис. 3), которая совмещает, как схему метода 2-х частот [7], так и фазометр [8], что позволяет измерять затухание и отражение на  $\lambda_1, \lambda_2$  и фазовый сдвиг на  $\lambda_1$  ( $\lambda_1 = 8$  мм;  $\lambda_2 = 4$  мм). Сигналы от генераторов  $G_1, G_2$  направляются в общий волноводный тракт, выполненный из полистирола и рассчитанный на наибольшую длину волны. Сфокусированное рупорно-линзовыми антеннами излучение проходит через плазму и направляется в частотный разделитель 4, далее на измерительные аттенюаторы 5 и затем на кристаллические детекторы 6 с регистрацией на самописцах КСП-48.

В опорном плече волна, пройдя через аттенюатор 2 и фазовращатель 3, смешивается с сигналом, прошедшим через измерительное плечо II, что позволяет измерить сдвиг фазы волны, прошедшей через

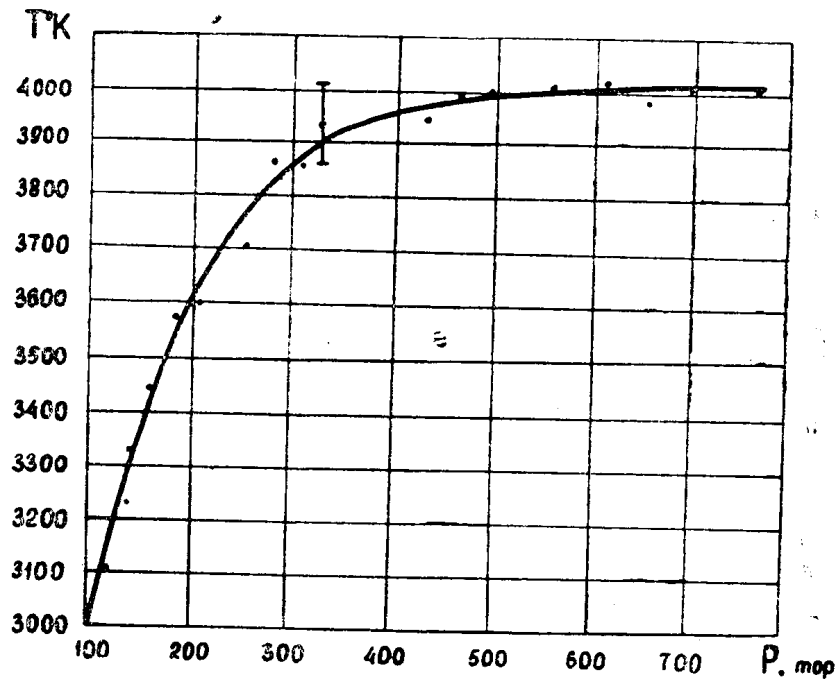


Рис. 2. Зависимость газовой температуры плазмы смеси воздуха с продуктами разложения полимеров от давления.

плазму. Для согласования в схему включен трехшлейфовый трансформатор 7.

КСВН установки на всех длинах волн составляло  $1,14 \div 1,20$  и измерялось измерительными линиями 1.

Таблица 1

Электронная концентрация  $n_e$  и эффективная частота соударений  $\nu_{эф}$  для плазмы в ч. разряда при различных давлениях

$P$	$torr$	40	60	80	100	120	140	160	180	200
$n_e \cdot 10^{-11}$	$см^{-3}$	1,23	1,66	2,3	2,84	3,41	4,55	6,52	6,80	6,94
$\nu_{эф} \cdot 10^{-11}$	$сек^{-1}$	0,67	0,67	0,69	0,78	0,90	0,90	0,95	1,02	1,15

Вычисление значений  $n_e$  и  $\nu_{эф}$  из номограмм работы [7] невозможно, поскольку в нашем случае отношение  $S = \frac{\nu_{эф}}{\omega} > 1$  ( $\omega$  — частота зондирующего сигнала).

В табл. 1 приведены значения  $n_e$  и  $v_{эф}$ , вычисленные с помощью номограмм, рассчитанных нами на ЭВМ [9]. Причем расчетная формула была упрощена в соответствии с условием  $S > 1$ . Ошибка эксперимента, обусловленная отражением между антеннами и рефракцией на столбе плазмы, а также сравнительно малой плотностью электронов составляет 12—10%, что хорошо согласуется с данными работы [10].

Таким образом, проведение комплекса вышеназванных измерений в совокупности с зондовыми и электрическими измерениями позволяет получать информацию о процессах, протекающих в плазме в ч. факельного разряда и проводить оптимизацию плазмохимических процессов по тем или иным параметрам.

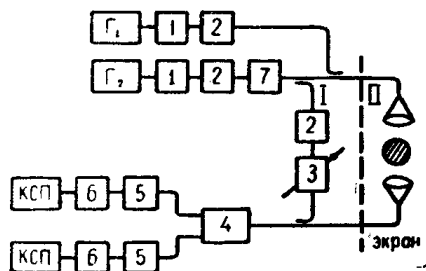


Рис. 3. Блок-схема установки для микроволновых исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Кирилин. В сб.: «Низкотемпературная плазма», М., «Мир», 1967, стр. 9.
2. И. А. Тихомиров и др. «Генераторы низкотемпературной плазмы». М., «Энергия», 1969.
3. И. А. Тихомиров и др. Физика, техника и применение низкотемпературной плазмы. Алма-Ата, 1970.
4. И. А. Тихомиров и др. Авт. свид. 252300, 1968.
5. М. З. Хохлов. «ЖЭТФ», 5 (11) (1955).
6. М. З. Хохлов. «ОС», 4 (1958).
7. А. В. Чернетский, О. А. Зиновьев, О. В. Козлов. Аппаратура и методы плазменных исследований под ред. В. Д. Русанова. М., Атомиздат, 1968.
8. В. Е. Голант. СВЧ методы исследования плазмы. М., «Наука», 1968.
9. И. А. Тихомиров и др. Известия ТПИ, т. 276, стр. 26.
10. Shioyaga S. «J. Appl. Phys.», 1965, 4 № 7, 513.
11. И. А. Тихомиров и др. Приборы и техника эксперимента, 1974, № 3, стр. 151.