

## ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК МОЛЕКУЛЯРНОГО ГАЗА НА ТЕМПЕРАТУРУ ФАКЕЛЬНОГО РАЗРЯДА, ГОРЯЩЕГО В АТОМАРНОМ ГАЗЕ

Мискун И.А., Луценко Ю.Ю.

Научный руководитель: Луценко Ю.Ю., к.ф.-м.н., доцент  
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина,30  
E – mail: [ivanmiskun@gmail.com](mailto:ivanmiskun@gmail.com)

Плазма факельного разряда, горящего в одноатомных газах, характеризуется значительным отрывом электронной температуры от газовой температуры. Данный отрыв температур обусловлен низкой эффективностью передачи энергии от электронов к атомам газа. В случае использования в качестве плазмообразующего газа молекулярного газа эффективность этого процесса значительно возрастает вследствие появления дополнительных каналов передачи энергии. Дополнительные каналы передачи энергии обусловлены существованием у молекулы колебательных и вращательных степеней свободы. Поэтому плазма разряда, горящего в молекулярных газах, характеризуется более высокой газовой температурой и меньшим отрывом газовой температуры от электронной температуры в отличие от плазмы разряда, горящего в атомарном газе.

В настоящей работе рассмотрено влияние добавок молекулярного газа на температуру разряда, горящего в одноатомном газе. В качестве одноатомного газа использовался аргон, а в качестве молекулярного газа – воздух. Проводились измерения газовой и электронной температуры разряда при различной величине соотношения аргона и воздуха в плазмообразующем газе.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

Исследовался факельный разряд мощностью около 1 кВт. Разряд возбуждался в кварцевой

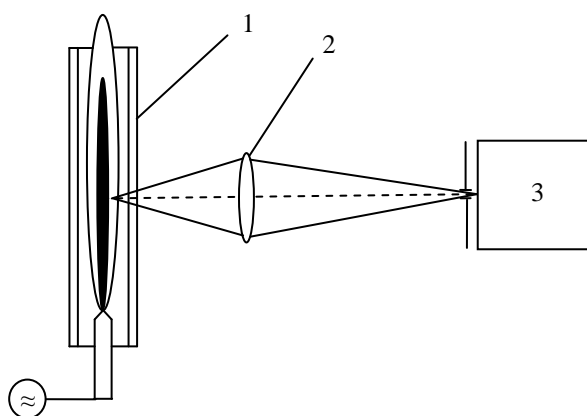


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.  
1 – ВЧ факельный разряд; 2 – линза; 3 – спектрограф MSDD 1000

трубке диаметром 28 мм на частоте 37 МГц. Измерения газовой и электронной температур проводились на расстоянии 70 мм от электрода. Заметим, что температура факельного разряда незначительно меняется [1] вдоль его оси. Поэтому измерения, проведённые для одной точки разряда, будут характеризовать плазму разряда в целом.

Излучение от исследуемого объёма разряда посредством линзы проецировалось на щель спектрографа MSDD 1000.

Спектр выводился непосредственно на экран компьютера. Ширина щели спектрографа составляла 0.3 мм. Время экспозиции спектра составляло 0,5...1,5 секунды. Для уменьшения собственных шумов ПЗС камеры проводилось её охлаждение до температуры  $-10^{\circ}\text{C}$ . Перед каждым измерением осуществлялось измерение фона в том же спектральном диапазоне. Полученный фон вычитался из результатов измерений.

Измерение газовой температуры проводилось по относительной интенсивности вращательных переходов молекулярной полосы гидроксидла  $3064 \text{ \AA}$ . Использовались линии колебательной ветви  $Q_1$ . Выбирались линии свободные от наложения других линий –  $Q_{14}$ ,  $Q_{16}$ ,  $Q_{19}$ ,  $Q_{10}$ . Для того чтобы отсечь излучение от других частей разряда использовалась диафрагма шириной 5 мм.

Результаты измерений газовой температуры факельного разряда при различной концентрации  $\Delta$  воздуха в плазмообразующем газе представлены на рис.2.

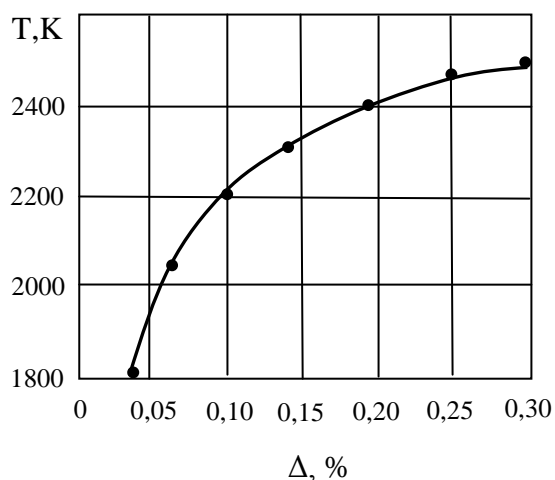


Рис. 2. Зависимость газовой температуры факельного разряда, горящего в смеси аргон – воздух от концентрации воздуха

Как видно из рис. 2 газовая температура факельного разряда при добавлении

молекулярного газа в атомарный увеличивается достаточно монотонным образом. Отсутствует упоминаемое в работе [2] резкое увеличение газовой температуры при добавлении в плазмообразующий газ воздуха. Отметим, однако, что изменение температуры при малых величинах концентрации воздуха максимально. При большей концентрации воздуха в плазмообразующем газе рост температуры уменьшается.

Наряду с измерениями газовой температуры проводились измерения электронной температуры факельного разряда, горящего в смеси аргон-воздух. Измерения электронной температуры факельного разряда проводились двумя способами. Первый способ заключался в использовании метода Орнштейна. Измерения этим методом проводились на основе анализа относительной интенсивности линий меди. Пары меди попадали в плазму разряда за счёт испарения материала поверхности медного водоохлаждаемого электрода. Использовались линии меди  $5106\text{\AA}$ ,  $5153\text{\AA}$  и  $5218\text{\AA}$ . Энергии и относительные вероятности переходов, соответствующих данным линиям были взяты из работы [3].

Второй способ измерения электронной температуры основывался на анализе частотной зависимости интенсивности континуума атомов аргона в диапазоне длин волн от  $3300\text{\AA}$  до  $4000\text{\AA}$ . При этом использовалась методика, приведённая в работе [4]. Согласно работе [4] интенсивность континуума  $\varepsilon_\nu$  атомов аргона в диапазоне длин волн  $3300\text{...}4000\text{\AA}$  может быть описана следующей зависимостью:

$$\varepsilon_\nu = const \cdot \exp\left(-\frac{h\nu}{kT_e}\right)$$

Здесь:  $h$  – постоянная Планка;  $\nu$  – частота;  $T_e$  – электронная температура.

Следовательно, прологарифмировав полученную экспериментальную зависимость интенсивности континуума можно установить величину электронной температуры аргоновой плазмы.

В нашем случае континуум атомов аргона в вышеуказанном диапазоне длин волн искажался наложением полосы молекулы CN  $3883\text{\AA}$ . Поэтому точность измерений по данной методике была ниже, чем в случае использования метода Орнштейна.

Достоверность полученных результатов оценивалась на основе сравнения результатов, полученных при использовании разных методик.

Результаты измерений электронной температуры факельного разряда при различной концентрации воздуха в плазмообразующем газе представлены на рис. 3.

Из рис. 3 следует, что при увеличении доли молекулярного газа в атомарном газе электронная температура уменьшается. Тем самым, разрыв

между электронной и газовой температурами уменьшается, и плазма разряда становится более равновесной.

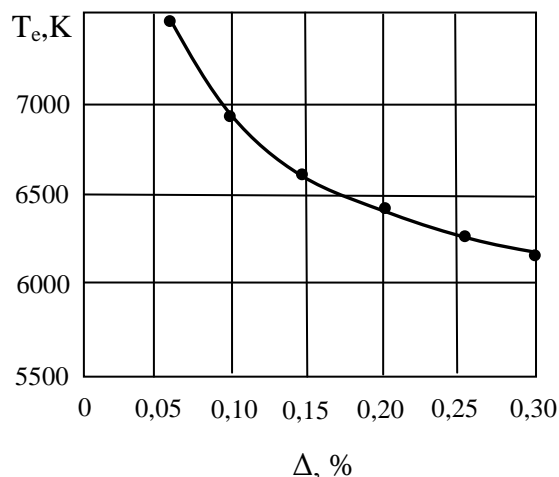


Рис. 3. Зависимость электронной температуры факельного разряда, горящего в смеси аргон-воздух от концентрации воздуха

Согласно проведённым измерениям величина отношения электронной температуры к газовой температуре при добавлении в аргон воздуха в концентрации менее 30% находится в пределах  $T_e/T \sim 2,7\text{...}3,2$ . Следовательно, изменение разрыва между электронной и газовой температурами не превышает 20 %.

Таким образом, введение молекулярного газа в атомарный газ не оказывает столь значительного влияния на характеристики разрядной плазмы, как это предполагалось [2] ранее.

#### Литература:

1. Луценко Ю.Ю., Власов В.А., Зеленецкая Е.П. Влияние осевой неоднородности плазмы высокочастотного факельного разряда на его электродинамические характеристики // Теплофизика и аэромеханика. – 2013. – №1. – с.117 – 122.
2. Тихомиров И.А., Тихомиров В.В., Шишковский В.И. О функции распределения электронов по энергиям в ВЧ факельном разряде // Известия Вузов. Физика. – 1974. – №4. – с.462-464.
3. Hess H., Kloss H.-G., Rademacher K., Seliger K. Vergleich zwischen einem Verfahren zur Bestimmung von Bogentemperaturen mit Hilfe von Stoßwellen und einer spektroskopischen Methode // Beiträge aus der Plasmaphysik. – 1962. – Bd. 2. – № 3. – S. 171 – 178.
4. Janča J. Spectral diagnostics of a unipolar high-frequency discharge excited in nitrogen and argon at pressures from 1 to 12 atm. // Czech. J. Phys. - 1967. – vol. B17, №9. - p. 761 – 772.