

04

Распространение ударной волны в плазме тлеющего разряда в осушенном и влажном воздухе

© А.С. Барышников, И.В. Басаргин, М.В. Чистякова

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
E-mail: al.bar@mail.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 3 декабря 2007 г.

Проведены эксперименты по распространению ударных волн в плазме тлеющего разряда в осушенном и влажном воздухе. Показано, что в основном структура распределения импульса давления за ударной волной, распространяющейся поперек положительного столба тлеющего разряда, в этих средах остается неизменной. Меняется распределение скорости распространения волны. В распределении скорости ударной волны поперек столба изменяется положение максимумов скорости.

PACS: 52.35.Tc

В данной работе проводится сравнение распространения ударной волны в двух средах: осушенном воздухе (влажность практически нулевая) и в воздухе, насыщенном водяными парами (практически 100%-я влажность), — с целью выяснения влияния влажности и физико-химических процессов в плазме на поведение ударной волны.

В предыдущих предварительных исследованиях было отмечено некоторое изменение структуры импульса давления за ударной волной в связи с изменением влажности воздуха [1]. Однако замеченные изменения находились в рамках точности измерения и требовали более тщательного изучения.

Для повышения точности измерения скорости ударной волны была проделана большая работа по модернизации системы регистрации сигнала в шпирен-системе. Использование ножа Фуко и фотоэлектрического датчика имеет малое отношение сигнала к шуму при наличии электрических помех. Применение призмы вместо ножа Фуко и операционного усилителя существенно улучшило использование шпирен-системы. Призма разделяет световой луч на два луча. Модуляция света

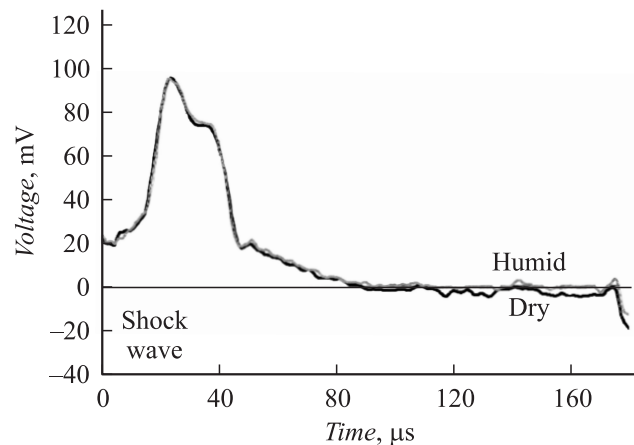


Рис. 1. Сравнение импульсов с пьезодатчика в сухом (Dry) и увлажненном (Humid) воздухе.

ударной волной приводит к увеличению интенсивности света в одном луче и уменьшению ее в другом. Выходные электрические сигналы с двух фотолетрических приемников объединяются на входе операционного усилителя, что дает удвоение величины полезного сигнала и существенное ослабление синфазных помех до 80–100 dB. Прделанная работа значительно улучшила точность измерения скорости ударной волны. Точность измерения скорости в настоящее время составляет не более 6%.

Были проведены многочисленные исследования формы импульса давления за ударной волной для разных начальных скоростей (скоростей входа в плазменный столб) ударных волн и для разных точек поперек столба плазмы. Наиболее характерные результаты представлены в сравнении на рис. 1. На рисунке показано распределение сигнала с пьезодатчика, ориентированного навстречу ударной волне. Пьезодатчик находится на расстоянии 20 mm от центра разряда. Именно на этом расстоянии, как указано в [2], имеется резкое увеличение скорости распространения ударной волны в атмосферном воздухе.

На рис. 1 видно, что различия между формами сигнала находятся в пределах точности экспериментального измерения.

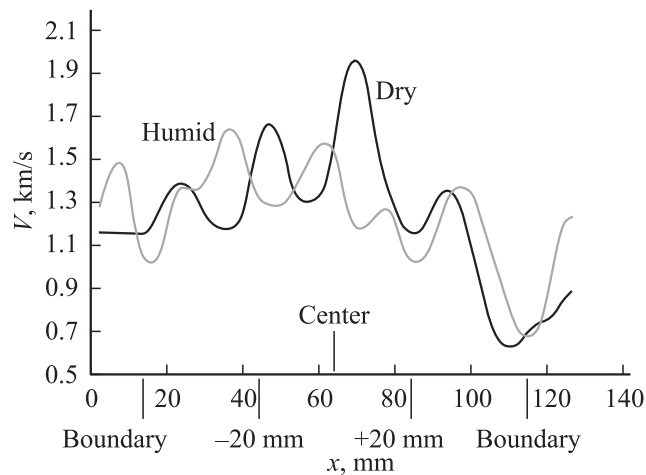


Рис. 2. Сравнение распределения скорости ударной волны поперек положительного столба разряда в сухом (Dry) и увлажненном (Humid) воздухе.

Более информативными являются измерения скорости распространения волны (рис. 2). На рисунке представлено сравнение распределения скорости ударной волны поперек положительного столба тлеющей плазмы в осушенном и увлажненном воздухе. Графики получены сглаживанием методом Фурье с окном Хемминга по 10 точкам. Надо заметить, что сглаживание по 5 точкам приводит к увеличению амплитуды пиков скорости волны (максимум на 30%), в то время как положение пиков не меняется. Это говорит о хорошей точности проведенных экспериментов и процедуры сглаживания.

На рисунке волна распространяется слева направо. Видно, что в различных средах положения максимумов скорости распространения волны отличаются друг от друга. На рисунке можно видеть, что в осушенном воздухе (Dry, рис. 2) и во влажном воздухе (Humid, рис. 2) имеется 4 максимума, причем вблизи центра разряда находятся максимумы скорости. Имеющиеся немонотонные изменения скорости за пределами разряда связаны с плохой аппроксимацией процедуры сглаживания на концах промежутка. Именно поэтому измерения скорости волны проводились в более широком промежутке, чем поперечный

размер области разряда. Этот размер шире видимой области разряда и находится по оценкам концентрации заряженной компоненты в плазме, которая за границей промежутка на порядки ниже значений в центре разряда.

Во влажном воздухе максимум находится в точке 60 mm, а в сухом — в точке 70 mm. На такое же расстояние смещены максимумы, расположенные до центра разряда. Во влажном воздухе наблюдается перегиб распределения скорости волны на месте небольшого максимума в сухом воздухе. До центра разряда меняется и положение, и характер немонотонного поведения распределения скорости ударной волны.

За центром разряда во влажном воздухе имеется 2 максимума, хотя один выявляется на пределе точности измерения. В сухом воздухе за центром разряда наблюдается 1 максимум. Надо заметить, однако, что интерпретация поведения волны за центром разряда усложнена эффектами отражения волны. Общая тенденция отражает падение скорости по мере распространения волны поперек разряда.

Полученное в эксперименте изменение положения максимумов и характера немонотонного поведения распределения скорости распространения ударной волны соответствует представлениям авторов о влиянии концентрации возбужденных компонент на изучаемый эффект. Действительно, изменения температуры газа и электронов, средней концентрации электронов при изменении влажности, судя по изменению электрических параметров разряда, не могут быть более 1%. В то же время система физико-химических процессов в плазме и распределение концентраций возбужденных компонент при изменении влажности воздуха, как хорошо известно [3], существенно различаются.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 06-08-00663-а.

Список литературы

- [1] Барышников А.С., Басаргин И.В., Чистякова М.В. // Письма в ЖТФ. 2007. Т. 33. В. 10. С. 54–57.
- [2] Барышников А.С., Басаргин И.В., Чистяков М.В. // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31. В. 22. С. 82–86.
- [3] Акишев Ю.С., Дерюгин А.А., Каральник В.Б., Кочетов И.В., Напартович А.П., Трушкин Н.И. // Физика плазмы. 1994. Т. 20. № 6. С. 571–584.