

04;12

Реализация нового метода оптической диагностики плазмы в электрофизических установках

© Ю.А. Железнов, В.Ю. Хомич

Центр научного приборостроения Института электрофизики
и электроэнергетики РАН, Москва
E-mail: machine@mail15.com

Поступило в Редакцию 31 августа 2005 г.

Описывается комплекс аппаратуры, разработанный для практической реализации нового метода диагностики плазмы, генерируемой плазмотронами в электрофизических установках. Метод основан на одновременной регистрации как спектров собственного излучения, так и изображений плазмы с последующим анализом зарегистрированных данных.

Анализ данных, полученных с применением разработанного и созданного комплекса аппаратуры, позволяет находить как оптимальные режимы работы существующих плазмохимических реакторов, так и оптимальное число и пространственное расположение плазмотронов в разрабатываемых реакторах.

PACS: 52.70.Kz

Во всем мире в настоящее время наблюдается стремительный рост отходов производства и потребления, что обуславливает острую необходимость их утилизации.

Одним из наиболее перспективных путей переработки отходов различного рода является применение плазмохимических технологий [1–5].

На сегодняшний день весьма остро стоит задача улучшения и оптимизации технико-экономических параметров электрофизических установок, предназначенных для переработки отходов. В электрофизических установках, использующих плазмохимические технологии, применяются сильноточные дуговые разряды и созданные на их основе электродуговые генераторы низкотемпературной плазмы — плазмотроны [6–8].

Для повышения эффективности уничтожения отходов, уменьшения выбросов вредных веществ, снижения потребления электроэнергии необходимо наиболее полно экспериментально исследовать процессы, протекающие в плазме, генерируемой плазмотронами.

Авторами был предложен новый метод диагностики плазмы, состоящий в одновременной регистрации спектров собственного излучения и изображений плазмы, и разработан и спроектирован комплекс аппаратуры, реализующей данный метод [9,10].

Комплекс аппаратуры, реализующей метод одновременной регистрации спектров излучения и изображений плазмы

На рис. 1 представлена схема экспериментальной установки, предназначенной для одновременной регистрации спектров излучения и изображений плазмы.

Отходы из устройства загрузки *1* попадают через газонепроницаемый затвор *2* в плазмохимический реактор *3*. Плазмотрон *4* генерирует плазменный факел *5*, образующийся в результате пропускания

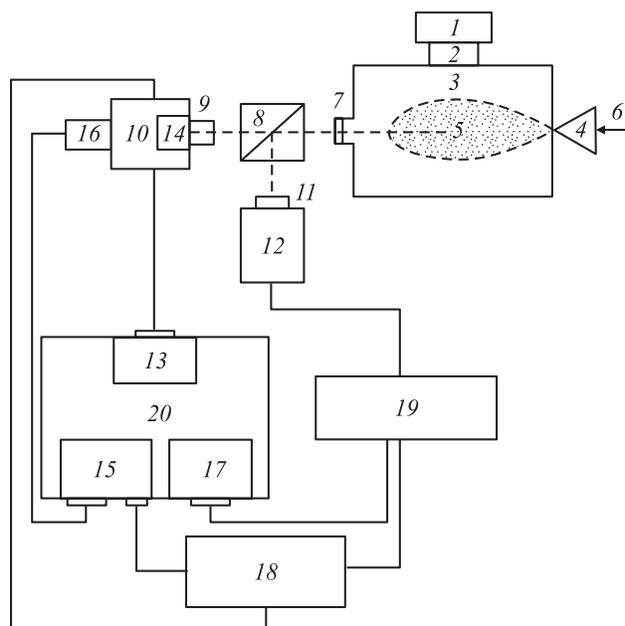


Рис. 1. Схема эксперимента по одновременной регистрации спектров излучения и изображений плазмы с одним диагностическим окном.

плазмообразующего газа (например, воздуха) *б* через электрическую дугу, создаваемую в плазмотроне. В результате взаимодействия такого плазменного факела с отходами образуется плазма сложного состава, в которой протекают реакции самых разнообразных типов.

Все эти реакции сопровождаются электромагнитным излучением в широком диапазоне длин волн. Это электромагнитное излучение выводится из плазмохимического реактора через диагностическое окно *7* и попадает на светоделитель *8*, который разделяет исходный световой поток на два, один из которых попадает через узел ввода излучения *9* в спектрограф *10*, а другой — через объектив *11* в высокоскоростную камеру *12*.

В спектрографе излучение разлагается в спектр дифракционной решеткой. Была выбрана отображающая модель спектрографа, в которой обеспечивается формирование изображения входной щели в выходной плоскости. За счет этого в выходной плоскости отображающего спектрографа возможно одновременно получить несколько раздельных спектральных сигналов, приходящих из различных областей пространства одновременно.

Спектрограф оснащен держателем на четыре дифракционные решетки. Установка решеток в рабочее положение и их сканирование осуществляются автоматически после подачи сигнала с интерфейсной платы *13*, установленной в компьютере *20*.

В качестве узлов ввода излучения в спектрограф используются различные модули: щель, одножильный световод, многоканальное световолокно, объектив с волоконным выходом.

Электромеханический затвор *14* обеспечивает открывание и перекрытие вводимого в спектрограф светового потока. Управление затвором осуществляется через интерфейсную плату *15* и устройство ввода-вывода *18*.

В выходной плоскости спектрографа устанавливается прибор с зарядовой связью (ПЗС) *16*, оснащенный фоточувствительным чипом формата 1024×256 пикселей. С выхода ПЗС аналоговый электрический сигнал подается на вход интерфейсной платы *15*, где происходит его оцифровка.

Стандартный ПЗС обеспечивает скорость регистрации не более нескольких сотен спектров в секунду. С целью увеличения скорости применяется ПЗС, в котором часть светочувствительного чипа закрыта маской, так что открытым для света остается только один ряд пикселей.

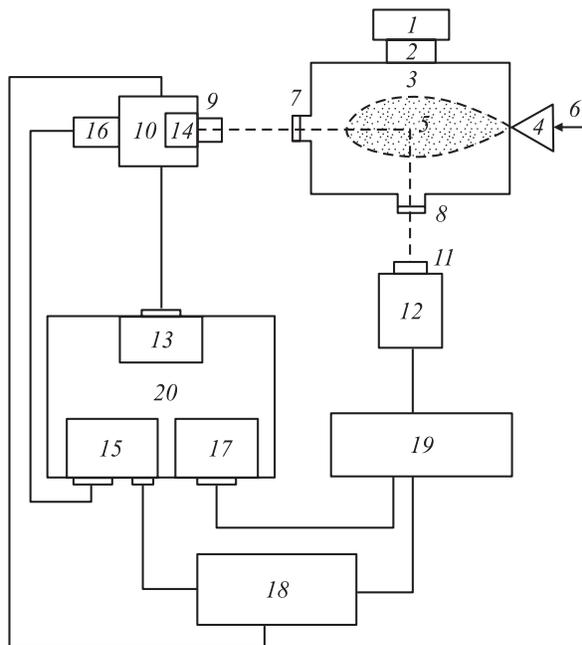


Рис. 2. Схема эксперимента по одновременной регистрации спектров излучения и изображений плазмы с двумя диагностическими окнами.

Такая конструкция ПЗС обеспечивает значительное увеличение скорости регистрации спектров до нескольких миллионов спектров в секунду.

Световой поток, отраженный светоделителем 8, попадает в объектив 11, формирующий изображение плазмы на фотоприемнике высокоскоростной камеры 12. Управление камерой и считывание информации с нее осуществляются с использованием интерфейсной платы 17 и блока управления 19.

Управление комплексом регистрирующей аппаратуры, сбор и анализ данных осуществляются с использованием компьютера 20.

Синхронизация работы ПЗС 16 и высокоскоростной камеры 12 осуществляется с использованием запускающего электрического импульса, подаваемого с выхода интерфейсной платы 15 как на вход ПЗС 16, так

и на запускающий вход блока управления 19 высокоскоростной камеры через модуль ввода-вывода 18.

Авторами работы была предложена еще одна схема экспериментальной установки по одновременной регистрации спектров излучения и изображений плазмы, показанная на рис. 2. В этой схеме вывод излучения плазмы из плазмохимического реактора осуществляется через два диагностических окна 7 и 8. Излучение, выходящее через одно из окон, вводится в спектрограф 10. Излучение, выводящееся через второе окно, регистрируется высокоскоростной камерой 12.

Одним из преимуществ этой схемы по сравнению с однооконной схемой вывода излучения плазмы является отсутствие оптических и спектральных искажений, вносимых светоделителем. Также немаловажным преимуществом является отсутствие уменьшения светового потока обоих каналов вывода излучения, вызываемое делением этого потока на две части и поглощением света внутри самого светоделителя.

Недостатками этой схемы являются необходимость дополнительных затрат на установку и обслуживание второго окна и увеличение возмущающих плазму влияний за счет увеличения числа окон.

Список литературы

- [1] *Rutberg Ph.G., Bratsev A.N., Safronov A.A.* et al. // IEEE Transactions on Plasma Science. 2002. V. 30. N 4. P. 1445–1448.
- [2] *Choi Kyung-Soo, Park Dong-Wha.* // 13th International Symposium on Plasma Chemistry. Peking University Press, 1997. V. 4. P. 2447–2451.
- [3] *Rutberg Ph.G.* // Thermal methods of waste treatment. Environmental Technologies Handbook. The Scarecrow Press, Inc., Lanham, Maryland, Toronto, Oxford, 2005. Chapter 4. P. 161–192.
- [4] *Rutberg Ph.G.* // Plasma Physics and Controlled Fusion. 2003. V. 45. P. 957–969.
- [5] *Амору Дж., Морван Д.* и др. // ЖТФ. 2005. Т. 75. В. 5. С. 73–82.
- [6] *Коротеев А.С., Миронов В.И., Свирчук Ю.С.* Плазмотроны: конструкции, характеристики, расчет. М.: Машиностроение, 1993. 296 с.
- [7] *Глебов И.А., Рутберг Ф.Г.* Мощные генераторы плазмы. М.: Энергоатомиздат, 1985. 264 с.
- [8] *Rutberg Ph.G., Safronov A.A., Popov S.D.* et al. // Plasma Physics and Controlled Fusion. 2005. V. 47. P. 1681–1696.
- [9] *Железнов Ю.А., Хомич В.Ю.* Препринт Научно-технологического центра уникального приборостроения РАН. М., 2001. 12 с.
- [10] *Железнов Ю.А., Хомич В.Ю.* Препринт Центра научного приборостроения Института проблем электрофизики РАН. М., 2002. 54 с.