ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ПЛАЗМЫ В РЕАКТОРЕ итэр

А.А. Медведев, А.В. Храменков

ИФТ НИЦ «Курчатовский Институт», Москва, РФ, medvedev@nfi.kiae.ru

Одной из необходимых задач диагностического комплекса ИТЭР является измерение изотопного состава (отношения nH/nD/nT) плазмы на периферии плазменного шнура. Для получения информации такого рода средствами видимой спектроскопии необходим анализ формы спектра одной из линий бальмеровской серии. Как показали проведенные модельные расчеты, такие спектры в реальных условиях ИТЭР имеют весьма сложную форму. Каждая изотопическая компонента превращается из-за эффекта Зеемана в триплет. Кроме того, в общем случае необходимо учитывать влияние доплеровского и штарковского расширений. Деконволюция спектра, в принципе, может быть проведена при наблюдении ограниченной области на периферии плазмы, где параметры, влияющие на форму спектра (например, магнитное поле и ионную температуру) можно считать однородными. Однако задача осложняется высоким уровнем фонового излучения, обусловленного диффузным рассеянием света на поверхности бериллиевой первой стенки. Коэффициент диффузного отражения видимого излучения на поверхности Be может достигать 30-40%. Поэтому, куда бы ни был направлен конус наблюдения входной оптической системы, на ее выход будет попадать излучение с обширной площади периферии плазменного шнура, а также из области дивертора и x-точки, где яркость соответствующих линий на несколько порядков выше, нежели на периферии основной плазмы. Таким образом, будет происходить наложение спектров, возникающих в зонах с существенно различными параметрами плазмы. Это обстоятельство делает решение обратной задачи практически невозможным.

Для того чтобы обеспечить возможность упомянутых измерений, предлагается следующая схема. В одном из диагностических модулей организуется небольшой объем, сообщающийся при помощи короткого трубопровода с камерой установки. Принимаются меры для предотвращения попадания в этот объем видимого излучения плазмы. Во время рабочего импульса реактора в объеме зажигается тлеющий разряд. Излучение светящегося разряда при помощи простой оптической системы выводится за кварцевое вакуумное окно, затем за биологическую защиту, откуда при помощи волоконной оптики подается на спектрометр высокого разрешения.

Временное разрешение измерений при данной схеме определяется характерным временем обмена газом между камерой установки и измерительным объемом. Как показали проведенные для реальной геометрии эксперимента расчеты, это время не будет превышать нескольких миллисекунд, что значительно ниже утвержденных требований к временному разрешению (100 мс). Время выравнивания изотопных составов на периферии плазмы и внутри измерительного объема будет также определяться временем газообмена.

Предложенная схема обладает рядом существенных достоинств: практически полностью отсутствует фоновое излучение, что позволяет не только кардинально упростить анализ спектра, но и снизить статистическую ошибку измерений; низкая средняя энергия и плотность ионов в объеме разряда делают пренебрежимо малыми доплеровское и штарковское расширения; магнитное поле в зоне разряда не только практически постоянно, но и известно по величине, что позволяет достаточно точно идентифицировать положение π- и σ- компонент штарковских триплетов.

Кроме того, конструкция предлагаемой оптической системы позволяет избежать деградации входного оптического элемента из-за осаждения частиц плазмы, что является одной из наиболее серьезных проблем для всех диагностик ИТЭР, работающих в видимой области спектра.